



UNIVERSITI PUTRA MALAYSIA

**PENCIRIAN SIFAT OPTIK, MEKANIK DAN ELEKTRIK KACA
BISMUTH LITHIUM BORAT DAN FOSFAT**

LIU WEI WEN.

FS 2005 37

**PENCIRIAN SIFAT OPTIK, MEKANIK DAN ELEKTRIK KACA BISMUTH
LITHIUM BORAT DAN FOSFAT**

Oleh

LIU WEI WEN

**Tesis ini Dikemukakan Kepada Sekolah Pengajian Siswazah, Universiti Putra
Malaysia, Sebagai Memenuhi Keperluan Untuk Ijazah Master Sains**

Mei 2005



Dedikasi ini ditujukan khas kepada:

Ahli keluarga yang disayangi,

Rakan seperjuangan yang dikasihi,

Rakan-rakan yang dihormati,

Dan

Orang yang dicintai.

Abstrak tesis yang dikemukakan kepada Senat Universiti Putra Malaysia sebagai memenuhi keperluan untuk ijazah Master Sains

PENCIRIAN SIFAT OPTIK, MEKANIK DAN ELEKTRIK KACA BISMUTH LITHIUM BORAT DAN FOSFAT

Oleh

LIU WEI WEN

Mei 2005

Pengerusi : Prof. Madya Sidek Hj. Abd. Aziz, PhD

Fakulti : Sains

Dalam kajian ini, kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{B}_2\text{O}_3)_z$ adalah terdiri daripada siri A1 ($x = 0.005$ $y = 0.045$ $z = 0.95$), siri A2 ($x = 0.01$ $y = 0.09$ $z = 0.90$), siri A3 ($x = 0.015$ $y = 0.135$ $z = 0.85$), siri A4 ($x = 0.02$ $y = 0.18$ $z = 0.80$), siri B1 ($x = 0.0075$ $y = 0.0425$ $z = 0.95$), siri B2 ($x = 0.015$ $y = 0.085$ $z = 0.90$), siri B3 ($x = 0.0225$ $y = 0.1275$ $z = 0.85$) dan siri B4 ($x = 0.03$ $y = 0.17$ $z = 0.80$) telah disediakan dengan menggunakan teknik penyejukan mendadak. Bagi sampel kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{P}_2\text{O}_5)_z$, komposisi kaca terdiri daripada C1 ($x = 0.005$ $y = 0.045$ $z = 0.95$), siri C2 ($x = 0.01$ $y = 0.09$ $z = 0.90$), siri C3 ($x = 0.015$ $y = 0.135$ $z = 0.85$), siri C4 ($x = 0.02$ $y = 0.18$ $z = 0.80$), siri D1 ($x = 0.0075$ $y = 0.0425$ $z = 0.95$), siri D2 ($x = 0.015$ $y = 0.085$ $z = 0.90$), siri D3 ($x = 0.0225$ $y = 0.1275$ $z = 0.85$) dan siri D4 ($x = 0.03$ $y = 0.17$ $z = 0.80$).

Ketumpatan kaca diukur dengan menggunakan prinsip Archimedes. Kaca bismuth litium borat menunjukkan ketumpatan yang semakin bertambah tetapi ketumpatan bagi kaca bismuth litium fosfat hanya naik pada awalnya dan kemudian menurun. Ujian tanpa

musnah ultrasonik digunakan untuk menguji sifat kekenyalan kaca. Peralatan utama yang digunakan ialah sistem MBS 8000 yang menggunakan kaedah dedenyut gema kerana ia dapat menentukan nilai-nilai halaju gelombang membujur dan melintang yang melalui sampel kaca. Halaju ultrasonik bagi kaca bismuth litium borat menunjukkan corak peningkatan yang menyerupai anomali jika kita membandingkannya dengan corak pertambahan yang ditunjukkan oleh kaca bismuth litium fosfat. Corak tersebut menandakan penguatan rangkaian pada mulanya dan perlemahan kekuatan ikatan keseluruhan yang beransur-ansur selepas suatu amoun tertentu pengubah suai rangkaian Bi_2O_3 dan LiCl ditambahkan.

Kekonduksian ionik kaca diukur dengan menggunakan teknik pengukuran impedans kompleks dalam julat frekuensi 20 Hz – 1 MHz. Sampel kaca dengan ketebalan 2mm diapitkan di antara dua kepingan elektrod secara selari oleh klip spring. Konduktan, G telah diukur untuk mengira kekonduksian ionik. Kekonduksian kaca bismuth litium borat semakin bertambah dengan peningkatan kepekatan LiCl . Manakala kaca bismuth litium fosfat menunjukkan kekonduksian yang bersifat anomali dalam penggantungan komposisi oleh tenaga keaktifan. Struktur kaca memainkan peranan yang penting dalam menentukan kekonduksian kaca. Pertambahan LiCl akan menyebabkan pembentukan struktur rangkaian kaca yang lebih terbuka dan menghasilkan jalan pergerakan yang lebih mudah untuk ion bergerak seperti Li^+ .

Labsys DTA digunakan untuk menentukan suhu transisi kaca. T_g bagi kaca bismuth litium borat meningkat pada awalnya dan kemudiannya menurun dengan penambahan

pengubah suai oksida. Perubahan daripada unit BO_3^- kepada unit BO_4^- dalam struktur kaca telah menyebabkan kenaikan T_g tetapi penghasilan oktahedral BiO_6 menyebabkan pengurangan nilai T_g . Peningkatan nilai T_g bagi kaca bismuth litium fosfat telah diperhatikan semasa saiz cecincin bertambah daripada 2- kepada 4-ahli cecincin.

Tenaga jurang optik bagi kaca Bi_2O_3 -LiCl- B_2O_3 menunjukkan pertambahan. Ini disebabkan oleh perubahan struktur kaca daripada BO_3^- kepada BO_4^- . Apabila terhasilnya BiO_6 , tenaga jurang optik akan menurun dan ini berlaku pada kepekatan Bi_2O_3 yang lebih tinggi. Tenaga jurang optik bagi kaca fosfat adalah tertinggi pada kepekatan gelung yang terkecil atau P_2O_5 tertinggi dan semakin menurun apabila gelung terkecil digantikan dengan gelung yang lebih besar.

Abstract of thesis presented to the Senate of Universiti Putra Malaysia in fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science

**CHARACTERIZATION OF OPTICS, MECHANICS AND ELECTRICAL
PROPERTIES OF BISMTUH LITHIUM BORATE AND PHOSPHATE
GLASSES**

By

LIU WEI WEN

May 2005

Chairman : Associate Professor Sidek Hj. Abd. Aziz, PhD

Faculty : Science

In this work, $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{B}_2\text{O}_3)_z$ glasses that consists a systematic series beginning with A1 ($x = 0.005$ $y = 0.045$ $z = 0.95$), A2 ($x = 0.01$ $y = 0.09$ $z = 0.90$), A3 ($x = 0.015$ $y = 0.135$ $z = 0.85$), A4 ($x = 0.02$ $y = 0.18$ $z = 0.80$), B1 ($x = 0.0075$ $y = 0.0425$ $z = 0.95$), B2 ($x = 0.015$ $y = 0.085$ $z = 0.90$), B3 ($x = 0.0225$ $y = 0.1275$ $z = 0.85$) and B4 ($x = 0.03$ $y = 0.17$ $z = 0.80$). Two series of $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{P}_2\text{O}_5)_z$ were prepared which is C1 ($x = 0.005$ $y = 0.045$ $z = 0.95$), C2 ($x = 0.01$ $y = 0.09$ $z = 0.90$), C3 ($x = 0.015$ $y = 0.135$ $z = 0.85$), C4 ($x = 0.02$ $y = 0.18$ $z = 0.80$), D1 ($x = 0.0075$ $y = 0.0425$ $z = 0.95$), D2 ($x = 0.015$ $y = 0.085$ $z = 0.90$), D3 ($x = 0.0225$ $y = 0.1275$ $z = 0.85$) and D4 ($x = 0.03$ $y = 0.17$ $z = 0.80$). The preparations of glasses were done by using the rapid quenching technique.

The densities of each sample were determined by using the Archimedes' principle. Bismuth lithium borate glasses show increasing trend in densities however, bismuth lithium phosphate glasses exhibit the nonlinear behavior. Non-Destructive Testing was

used to examine the elastic properties of glasses. The MBS 8000 system, a product of Matec Instruments Inc. which applies echo pulse technique was used to determine the longitudinal and shear wave velocities of each glass sample. The ultrasound velocities of bismuth lithium borate glasses exhibit an anomalous trend when compared with the increasing trend shown by ultrasound velocities of bismuth lithium phosphate glasses. The trend implies the initial strengthening of the network and gradually weakening of the overall bonding strength after a certain amount of modifier network, Bi_2O_3 and LiCl is added.

The ionic conductivities of these glasses were determined by using complex impedance measurement technique in the frequency range 20 Hz – 1 MHz. Samples with 2 mm thickness were sandwiched between two parallel electrodes by a spring clip. The conductance G was obtained to calculate the ionic conductivity. The activation energy of bismuth lithium borate glasses decrease with the increasing mole fraction of LiCl . However, bismuth lithium phosphate glasses give an anomalous trend in the composition dependence of activation energy. Glasses structure plays an important role in determining the ionic conductivity of glasses. An addition of LiCl into glasses will contribute to formation of more open structures and make an easy path for mobile ions like Li^+ to move.

Labsys DTA machine was used to determine the glass transition temperatures, T_g . The T_g of bismuth lithium borate glasses increase initially and then decrease with addition of modifier oxide. Transformation of units BO_3^- to units BO_4^- in the glass structure



contributes to an increase in T_g but the formation of BiO_6 octahedral causes a decrease in T_g . An increase in T_g of bismuth lithium phosphate glasses was observed as the ring size increases from two- to four-membered rings.

The optical band gap of $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-LiCl-B}_2\text{O}_3$ increases with increasing Bi_2O_3 and LiCl content in the glass due to the transformation of units BO_3^- to units BO_4^- . The presence of BiO_6 causes a decrease in E_{opt} of bismuth lithium borate glasses in the regions with high Bi_2O_3 content. The highest values of the optical band gap of bismuth lithium phosphate glasses gap correspond to higher content of smallest ring size and then it gradually decrease upon substitution of smallest ring by larger rings.

PENGHARGAAN

Saya ingin menggunakan peluang ini untuk mengucapkan ribuan terima kasih kepada Prof. Madya Dr. Sidek Hj. Abd. Aziz, selaku penasihat projek saya. Sifatnya yang peramah, sabar dan tidak jemu memberi pendapat dan tunjuk ajar yang sangat berharga agar saya dapat menyiapkan projek ini. Di samping itu, saya juga berterima kasih kepada penasihat bersama saya iaitu Prof. Madya Dr. Zainal Abidin Talib, Prof. Madya Dr. Zaidan Abdul Wahab dan Prof. Madya Dr. Azmi Zakaria untuk nasihat dan komen berharga yang dicurahkan.

Tidak lupa juga ucapan terima kasih ditujukan kepada Prof. Madya Dr. Elias Saion, Prof. Dr. Abdul Halim Shaari dan Prof. Madya Dr. Mansor bin Hashim yang sudi membenarkan penggunaan peralatan di dalam makmal mereka. Pertolongan dan kerjasama yang diberikan oleh semua staf Jabatan Fizik sepanjang kajian saya juga amat dihargai.

Akhirnya, saya hendak merakamkan terima kasih kepada semua ahli keluarga dan kawan-kawan saya iaitu Loh Yen Nee, Hamezan, Bux, Khe Cheng Seong, Lee Kim Yee, Wong Peng Kiong, Yap Siew Hung, Lim Kean Pah, Kuan Ya Chin dan Lim Chee Siong yang banyak membantu menjayakan projek penyelidikan ini.

Saya mengesahkan bahawa Jawatankuasa Pemeriksa bagi Liu Wei Wen telah mengadakan peperiksaan akhir pada 27 Mei 2005 untuk menilai tesis Master Sains beliau yang bertajuk “Pencirian Sifat Optik, Mekanik dan Elektrik Kaca Bismuth Lithium Borat dan Fosfat” mengikut Akta Universiti Pertanian Malaysia (Ijazah Lanjutan) 1980 dan Peraturan-peraturan Universiti Pertanian Malaysia (Ijazah Lanjutan) 1981. Jawatankuasa Pemeriksa memperakukan bahawa calon ini layak dianugerahi ijazah tersebut. Anggota Jawatankuasa Pemeriksa adalah seperti berikut:

Mohd Maarof H. A Moxsin, PhD

Profesor
Fakulti Sains
Universiti Putra Malaysia
(Pengerusi)

Abdul Halim Shaari, PhD

Profesor
Fakulti Sains
Universiti Putra Malaysia
(Pemeriksa Dalam)

W. Mahmood Mat Yunus, PhD

Profesor
Fakulti Sains
Universiti Putra Malaysia
(Pemeriksa Dalam)

Md. Rahim Sahar, PhD

Profesor
Fakulti Sains
Universiti Teknologi Malaysia
(Pemeriksa Luar)



GULAM RUSUL RAHMAT ALI, PhD
Professor/Deputy Dean
School of Graduate Studies
Universiti Putra Malaysia

Tarikh: 22 AUG 2005

Tesis ini telah diserahkan kepada Senat Universiti Putra Malaysia dan telah diterima sebagai memenuhi syarat keperluan untuk ijazah Master Sains. Anggota Jawatankuasa Penyeliaan adalah seperti berikut:

Sidek Haji Abdul Aziz, PhD

Profesor Madya
Fakulti Sains
Universiti Putra Malaysia
(Pengerusi)

Azmi Zakaria, PhD

Profesor Madya
Fakulti Sains
Universiti Putra Malaysia
(Ahli)

Zainal Abidin Talib, PhD

Profesor Madya
Fakulti Sains
Universiti Putra Malaysia
(Ahli)




AINI IDERIS, PhD

Profesor/Dekan
Sekolah Pengajian Siswazah
Universiti Putra Malaysia

Tarikh: **08 SEP 2005**

PERAKUAN

Saya akui bahawa tesis ini adalah hasil kerja saya yang asli melainkan petikan dan sedutan yang telah dinyatakan rujukannya dengan jelas. Saya juga mengakui bahawa tesis ini tidak pernah dimajukan sebelum ini atau bersama-sama ini untuk mana-mana ijazah di Universiti Putra Malaysia atau institusi-institusi selain daripada Universiti Putra Malaysia.



LIU WEI WEN

Tarikh: 20/8/2005

JADUAL KANDUNGAN

MUKA SURAT

DEDIKASI	ii
ABSTRACT	iii
ABSTRAK	vi
PENGHARGAAN	ix
PENGESAHAN	x
PERAKUAN	xii
SENARAI JADUAL	xvi
SENARAI RAJAH	xvii
SENARAI SINGKATAN	xxv

BAB

1	Pengenalan	1.1
1.1	Definisi kaca	1.1
1.2	Perbezaan antara kaca dengan hablur	1.1
1.3	Ultrasonik	1.2
1.4	Kaca pengkonduksikan elektrik	1.3
1.5	Kepentingan sifat optik kaca	1.4
1.6	Suhu transisi, T_g kaca	1.6
1.6	Hipotesis	1.7
1.7	Objektif kajian	1.7
1.8	Organisasi bab	1.8
2	LATAR BELAKANG KAJIAN	2.1
2.1	Pengenalan	2.1
2.2	Kajian ultrasonik	2.2
2.3	Kajian suhu transisi	2.5
2.4	Kajian kekonduksian elektrik	2.8
2.5	Kajian optik	2.15
2.6	Kaca borat	2.19
2.7	Kaca fosfat	2.29
2.8	Ringkasan	2.36
3	TEORI	3.1
3.1	Teori kekenyalan kaca	3.1
3.1.1	Rambatan gelombang dalam bahan	3.1
3.1.2	Tegasan	3.2
3.1.3	Terikan	3.5
3.1.4	Anjakan dan Terikan	3.8
3.1.5	Persamaan Gerakan	3.8
3.1.6	Hubungan antara hukum Hooke dengan pemalar kenyal bahan	3.11
3.1.7	Perkaitan antara tegasan dengan terikan bagi bahan	3.13

	tidak isotropik	
	3.1.8 Pemalar Lamé	3.20
	3.1.9 Persamaan gelombang dalam * 2826 isotropik	3.21
	3.1.10 Gelombang Membujur	3.23
	3.1.11 Gelombang Melintang	3.23
	3.1.12 Modulus Young, E	3.24
	3.1.13 Nisbah Poisson	3.25
	3.1.14 Parameter Termodinamik (Suhu Debye, θ_D)	3.28
3.2	Sifat optik bahan amorfus	3.29
	3.2.1 Serapan antara jalur	3.30
	3.2.2 Pinggir penyerapan Urbach	3.33
3.3	Teori kekonduksian ionik	3.49
3.4	Suhu transisi kaca	3.60
3.5	Ringkasan	3.63
4	METODOLOGI	4.1
4.1	Penyediaan kaca	4.1
	4.1.1 Proses Praleburan dan peleburan	4.2
	4.1.2 Pengemasan sampel kaca	4.2
4.2	Pengukuran ketumpatan	4.3
4.3	Pengukuran ultrasonik	4.3
4.4	Pengukuran kekonduksian ionik	4.8
4.5	Pengukuran suhu transisi	4.9
4.6	Pengukuran pinggi penyerapan optik	4.9
4.7	Ringkasan	4.9
5	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	
5.1	Ciri fizikal dan bagi kaca bismuth litium borat dan kaca bismuth litium fosfat	5.1
	5.1.1 Ketumpatan kaca bismuth litium borat	5.2
	5.1.2 Isipadu molar kaca bismuth litium borat	5.8
	5.1.3 Ketumpatan kaca bismuth litium fosfat	5.10
	5.1.4 Isipadu molar kaca bismuth litium fosfat	5.12
	5.1.5 Suhu transisi T_g bagi kaca bismuth litium borat	5.13
	5.1.6 Suhu transisi T_g bagi kaca bismuth litium fosfat	5.15
	5.1.7 Ringkasan	5.16
5.2	Sifat optik bagi kaca bismuth litium borat dan kaca bismuth litium fosfat	5.17
	5.2.1 Pinggir penyerapan optik	5.17
	5.2.2 Tenaga jurang optik	5.23
	5.2.3 Ringkasan	5.29
5.3	Sifat kekenyalan kaca bismuth litium borat	5.29
	5.3.1 Halaju ultrasonik	5.29
	5.3.2 Modulus Young	5.34
	5.3.3 Modulus Pukul	5.36
	5.3.4 Nisbah Poisson	5.37
	5.3.5 Suhu Debye	5.38

5.3.6	Ringkasan	5.39
5.4	Sifat kekenyalan kaca bismuth litium fosfat	5.39
5.4.1	Halaju ultrasonik	5.39
5.4.2	Modulus Young	5.44
5.4.3	Modulus Pukul	5.47
5.4.4	Nisbah Poisson	5.48
5.4.5	Suhu Debye	5.49
5.4.6	Ringkasan	5.50
5.5	Sifat kekonduksian ionik kaca bismuth litium borat	5.51
5.5.1	Pengenalan	5.51
5.5.2	Penggantungan frekuensi kekonduksian ionik	5.51
5.5.3	Penggantungan suhu kekonduksian ionik	5.54
5.5.4	Ringkasan	5.58
5.6	Sifat kekonduksian ionik kaca bismuth litium fosfat	5.59
5.6.1	Penggantungan frekuensi kekonduksian ionik	5.59
5.6.2	Penggantungan suhu kekonduksian ionik	5.61
5.6.4	Ringkasan	5.64
6	KESIMPULAN	6.1
6.1	Penutup	6.1
6.2	Cadangan kajian lanjutan	6.3
	RUJUKAN	R.1
	LAMPIRAN A	L.1
	LAMPIRAN B	L.18
	BIODATA PENULIS	B.1

SENARAI JADUAL

Jadual		Muka surat
3.1	Hubungan antara tetanda matriks dengan tetanda tensor.	3.26
3.2	Hubungan antara tetanda tensor dan tetanda ringkas.	3.27
3.3	Perbandingan kebolehsambungan, ketumpatan silang dan nisbah Poisson bagi bahan yang berlainan.	3.41
5.1	Komposisi kaca bismuth litium borat dan fosfat.	5.1
5.2	Senarai kandungan komposisi, ketumpatan, suhu transisi, dan isipadu molar bagi kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{B}_2\text{O}_3)_z$.	5.3
5.3	Senarai kandungan komposisi, ketumpatan, suhu transisi, dan isipadu molar bagi kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{B}_2\text{O}_3)_z$.	5.4
5.4	Senarai kandungan komposisi, ketumpatan, suhu transisi, dan isipadu molar bagi kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{P}_2\text{O}_5)_z$.	5.5
5.5	Senarai kandungan komposisi, ketumpatan, suhu transisi, dan isipadu molar bagi kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{P}_2\text{O}_5)_z$.	5.6
5.6	Senarai kandungan komposisi, ketumpatan dan tenaga jurang optik E_{opt} bagi kaca bismuth litium borat.	5.23
5.7	Senarai kandungan komposisi, ketumpatan dan tenaga jurang optik E_{opt} bagi kaca bismuth litium fosfat.	5.23
5.8	Perubahan ketumpatan, halaju membujur, halaju melintang, modulus Young, modulus pukal, suhu Debye dan nisbah Poisson terhadap siri A1-A4 kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{B}_2\text{O}_3)_z$ pada suhu bilik.	5.32
5.9	Perubahan ketumpatan, halaju membujur, halaju melintang, modulus Young, modulus pukal, suhu Debye dan nisbah Poisson terhadap siri B1-B4 kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{B}_2\text{O}_3)_z$ pada suhu bilik.	5.33
5.10	Perubahan ketumpatan, halaju membujur, halaju melintang, modulus Young, modulus Pukal, suhu Debye dan nisbah Poisson terhadap siri kaca C1-C4 $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{P}_2\text{O}_5)_z$ pada suhu bilik.	5.42
5.11	Perubahan ketumpatan, halaju membujur, halaju melintang, modulus Young, modulus Pukal, suhu Debye dan nisbah	5.43

Poisson terhadap siri D1-D4 kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{P}_2\text{O}_5)_z$
pada suhu bilik.

- 5.12 Perbandingan tenaga keaktifan di antara sampel kaca bismuth litium borat dan bismuth litium fosfat. 5.55

SENARAI RAJAH

Rajah		Muka surat
2.1	Skema rangkaian rawak boron-oksigen di dalam kaca boron oksida. (Bulatan terisi ialah atom boron).	2.22
2.2	Skema rangkaian rawak boron-oksigen dengan kehadiran gelung boroxol yang banyak (bulatan terisi ialah atom boron).	2.22
2.3	Model kuasi hablur (<i>quasicrystalline</i>) bagi kaca boron oksida. Sudut B-O-B ialah 180° (bulatan terisi ialah atom boron).	2.23
2.4	Model molekul, B_4O_6 bagi kaca boron oksida. Atom boron (bulatan terisi) kelihatan ditempatkan di luar satah oksigen berkoordinasi.	2.24
2.5	Pecahan N_4 atom-atom boron dalam 4-koordinasi (Shaw dan Uhlmann, 1969).	2.28
2.6	Unit asas fosfat tetrahedral yang hadir di dalam kaca fosfat.	2.31
2.7	Struktur kaca fosfat $0.2Li_2O-0.8P_2O_5$ yang disimulasi. Kehadiran saiz cecincin terkecil (3-ahli cecincin) yang dihitamkan. Gambar kecil di hujung mewakili satu cecincin. Titik-titik kecil = Li ; warna gelap = P ; warna cerah = O (Liang <i>et al.</i> , 2000).	2.33
2.8	Susunan dan bilangan atom yang membezakan saiz 2-cecincin, 3-cecincin dan 4-cecincin (Liang <i>et al.</i> , 2000).	2.34
2.9	Struktur kaca fosfat $0.5Li_2O-0.5P_2O_5$ yang disimulasi. Titik-titik kecil = Li ; warna gelap = P ; warna cerah = O. Diperhatikan rantai mendominasi di dalam struktur (salah satu telah diijaukan) (Liang <i>et al.</i> , 2000).	2.35
2.10	Tenaga daripada pengiraan Hartree-Fock sebagai fungsi sudut ikatan titian P-O-P di dalam kelompok $H_4P_2O_7$. Sudut ikatan P-O-P untuk gelung fosfat yang berlainan telah ditunjukkan untuk perbandingan (Liang <i>et al.</i> , 2000).	2.35
3.1	(a) Rambatan gelombang membujur (b) Rambatan gelombang melintang.	3.2

3.2	Skema untuk tegasan yang mungkin.	3.3
3.3	Ilustrasi anjakan dan terikan.	3.5
3.4	Gambaran untuk enam komponen terikan.	3.6
3.5	Ilustrasi perubahan nisbah Poisson (terikan sisian/terikan membujur) dengan ketumpatan rangkaian silang semasa tegasan selari dikenakan. Daya yang menentang pemendekkan sisian bertambah dengan ketumpatan rangkaian silang.	3.26
3.6	Hubungan $(a\hbar\omega)^{1/2}$ melawan $\hbar\omega$.	3.32
3.7	Pinggir penyerapan Urbach bagi bahan amorfus.	3.34
3.8	Rangkaian B_2O_3 . Atom bersaiz besar ialah oksigen dan atom bersaiz kecil ialah boron.	3.36
3.9	Struktur tetraborat.	3.38
3.10	Struktur diborat.	3.38
3.11	Rangkaian borat dengan kehadiran atom oksigen bukan titian (NBO).	3.39
3.12	(a) Tempat alternatif ion natrium di dalam unit kutub (b) ion natrium melompat di dalam unit kutub untuk mencetuskan pengutuban orientasi.	3.42
3.13	Pembentukan arah jalan yang dipilih sahaja dengan penyambungan tempat-tempat alternatif yang berdekatan dengan unit struktur polar.	3.43
3.14	Gambaran model keadaan penerowongan yang mengandungi dua paras sistem. Parameter q ialah koordinat konfigurasi, Δ ialah ketaksimetrian tenaga dan V ialah ketinggian sawar.	3.45
3.15	Perubahan isipadu melawan suhu. Perhatikan bahawa kawasan lampau sejuk telah dibesarkan untuk memaparkan suhu fiktif.	3.48
4.1	Pemegang sampel.	4.7
4.2	Kaedah sampel kaca diapitkan dan disambungkan dengan alat HP 4284A.	4.8

5.1	Perubahan ketumpatan kaca $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-LiCl-B}_2\text{O}_3$ dengan kandungan Bi_2O_3 .	5.2
5.2	Perubahan isipadu molar $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-LiCl-B}_2\text{O}_3$ dengan kandungan Bi_2O_3 .	5.8
5.3	Perubahan ketumpatan kaca $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-LiCl-P}_2\text{O}_5$ dengan bilangan mol y.	5.10
5.4	Perubahan isipadu molar terhadap kandungan LiCl bagi kaca bismuth litium fosfat.	5.12
5.5	Graf suhu transisi bagi kaca $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-LiCl-B}_2\text{O}_3$ lawan kandungan Bi_2O_3 .	5.13
5.6	Graf suhu transisi bagi kaca $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-LiCl-P}_2\text{O}_5$ lawan kandungan Bi_2O_3 .	5.15
5.7	Penyerapan optik sebagai fungsi bagi panjang gelombang dalam julat UV bagi kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{B}_2\text{O}_3)_z$. Rajah sisipan: pekali penyerapan optik, α melawan tenaga foton, $\hbar\omega$ untuk kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{B}_2\text{O}_3)_z$.	5.18
5.8	Penyerapan optik sebagai fungsi bagi panjang gelombang dalam julat UV bagi kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{B}_2\text{O}_3)_z$. Rajah sisipan: pekali penyerapan optik, α melawan tenaga foton, $\hbar\omega$ untuk kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{B}_2\text{O}_3)_z$.	5.19
5.9	Penyerapan optik sebagai fungsi bagi panjang gelombang dalam julat UV bagi kaca kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{P}_2\text{O}_5)_z$. Rajah sisipan: pekali penyerapan optik, α melawan tenaga foton, $\hbar\omega$ untuk kaca kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{P}_2\text{O}_5)_z$.	5.19
5.10	Penyerapan optik sebagai fungsi bagi panjang gelombang dalam julat UV bagi kaca kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{P}_2\text{O}_5)_z$. Rajah sisipan: pekali penyerapan optik, α melawan tenaga foton, $\hbar\omega$ untuk kaca kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{P}_2\text{O}_5)_z$.	5.20
5.11	Hubungan $(\alpha\hbar\omega)^2$ dengan $\hbar\omega$ yang tiada hubungan separa linear bagi kaca $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-LiCl-B}_2\text{O}_3$.	5.22
5.12	$(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$ sebagai fungsi kepada tenaga foton, $\hbar\omega$ untuk kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{B}_2\text{O}_3)_z$.	5.24
5.13	Hubungan $(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$ dengan tenaga foton, $\hbar\omega$ bagi kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{B}_2\text{O}_3)_z$.	5.25

5.14	Hubungan $(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$ dengan tenaga foton, $\hbar\omega$ bagi kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{P}_2\text{O}_5)_z$.	5.25
5.15	$(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$ sebagai fungsi kepada tenaga foton, $\hbar\omega$ untuk kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{P}_2\text{O}_5)_z$.	5.26
5.16	Perubahan tenaga jurang optik dengan kandungan LiCl bagi kaca $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-LiCl-B}_2\text{O}_3$.	5.27
5.17	Perubahan tenaga jurang optik dengan kandungan LiCl bagi kaca $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-LiCl-P}_2\text{O}_5$.	5.27
5.18	Perubahan halaju membujur terhadap kandungan Bi_2O_3 bagi kaca $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-LiCl-B}_2\text{O}_3$.	5.30
5.19	Perubahan halaju melintang terhadap kandungan Bi_2O_3 bagi kaca $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-LiCl-B}_2\text{O}_3$.	5.31
5.20	Perubahan C_{11} dan modulus Young terhadap kandungan Bi_2O_3 bagi siri A1-A4 kaca $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-LiCl-B}_2\text{O}_3$.	5.34
5.21	Perubahan C_{11} dan modulus Young terhadap kandungan Bi_2O_3 bagi siri B1-B4 kaca $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-LiCl-B}_2\text{O}_3$.	5.35
5.22	Perubahan C_{44} dan modulus Pukal terhadap kandungan Bi_2O_3 bagi siri A1-A4 kaca $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-LiCl-B}_2\text{O}_3$.	5.35
5.23	Perubahan C_{44} dan modulus Pukal terhadap kandungan Bi_2O_3 bagi siri B1-B4 kaca $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-LiCl-B}_2\text{O}_3$.	5.36
5.24	Perubahan nisbah Poisson terhadap kandungan Bi_2O_3 bagi siri A1-A4 dan B1-B4 kaca bismuth litium borat.	5.38
5.25	Perbandingan suhu Debye antara kaca siri A1-A4 dan B1-B4 bagi kaca bismuth litium borat.	5.39
5.26	Perubahan halaju membujur terhadap kepekatan Bi_2O_3 bagi kaca $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-LiCl-P}_2\text{O}_5$.	5.41
5.27	Perubahan halaju melintang terhadap kepekatan Bi_2O_3 bagi kaca $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-LiCl-P}_2\text{O}_5$.	5.41
5.28	Perubahan C_{11} dan modulus Young terhadap kandungan LiCl bagi siri kaca C1-C4.	5.45

5.29	Perubahan C_{11} dan modulus Young terhadap kandungan LiCl bagi siri kaca D1-D4.	5.45
5.30	Perubahan C_{44} dan modulus Pukal terhadap kandungan LiCl bagi siri kaca C1-C4.	5.46
5.31	Perubahan C_{44} dan modulus Pukal terhadap kandungan LiCl bagi siri kaca D1-D4.	5.47
5.32	Perubahan nisbah Poisson terhadap kandungan LiCl bagi siri kaca C1-C4 dan D1-D4.	5.49
5.33	Perbandingan suhu debye antara kaca siri A1-A4 dan B1-B4 bagi kaca bismuth litium borat.	5.50
5.34	Kekonduksian lawan frekuensi bagi kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{B}_2\text{O}_3)_z$ pada suhu 393 K.	5.53
5.35	Kekonduksian lawan frekuensi bagi kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{B}_2\text{O}_3)_z$ pada suhu 423 K.	5.53
5.36	Kekonduksian lawan frekuensi bagi kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{B}_2\text{O}_3)_z$ pada suhu 453 K.	5.54
5.37	Plot Arrhenius bagi kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{B}_2\text{O}_3)_z$ pada 20 Hz. Nilai m mewakili kecerunan graf.	5.57
5.38	Plot Arrhenius bagi kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{B}_2\text{O}_3)_z$ pada 20 Hz. Nilai m mewakili kecerunan graf.	5.58
5.39	Kekonduksian lawan frekuensi bagi kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{P}_2\text{O}_5)_z$ pada suhu 303 K.	5.60
5.40	Kekonduksian lawan frekuensi bagi kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{P}_2\text{O}_5)_z$ pada suhu 423 K.	5.60
5.41	Kekonduksian lawan frekuensi bagi kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{P}_2\text{O}_5)_z$ pada suhu 453 K.	5.61
5.42	Plot Arrhenius bagi kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{P}_2\text{O}_5)_z$ pada 20 Hz. Nilai m mewakili kecerunan graf.	5.62
5.43	Plot Arrhenius bagi kaca $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{LiCl})_y(\text{P}_2\text{O}_5)_z$ pada 20 Hz. Nilai m mewakili kecerunan graf.	5.63
5.44	Pergantungan komposisi oleh tenaga keaktifan pada 20 Hz bagi kaca $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-LiCl-P}_2\text{O}_5$.	5.63

7.1	Tetingkap <i>Data Collection</i> .	A.1
7.2	Tetingkap pemilihan <i>Device</i> .	A.1
7.3	Tetingkap <i>Sequences</i> .	A.2
7.4	Tetingkap <i>Sequences</i> .	A.3
7.5	Tetingkap menambah <i>Sequences</i> .	A.3
7.6	Tetingkap memilih <i>Cut</i> .	A.4
7.7	Tetingkap pemilihan eksperimen.	A.4
7.8	Tetingkap <i>Saved Sequences</i> .	A.5
7.9	Tetingkap menyimpan data eksperimen.	A.5
7.10	Tetingkap <i>Procedure</i> .	A.5
7.11	Tetingkap <i>Starts the experiment</i> .	A.6
7.12	Tetingkap eksperimen.	A.6
7.13	Tetingkap memilih <i>Real time drawing</i> .	A.7
7.14	Tetingkap <i>Real time drawing</i> .	A.7
7.15	Tetingkap <i>Direct programming</i> .	A.8
7.16	Tetingkap membuka <i>file</i> eksperimen.	A.8
7.17	Tetingkap pemilihan eksperimen.	A.9
7.18	Tetingkap pemilihan signal eksperimen.	A.9
7.19	Tetingkap graf eksperimen.	A.10
7.20	Tetingkap memilih butang pembesar.	A.10
7.21	Tetingkap graf eksperimen.	A.11
7.22	Tetingkap graf yang sudah diperbesarkan.	A.11
7.23	Tetingkap memilih butang T_g .	A.12
7.24	Tetingkap <i>Heat Flow</i> .	A.12

7.25	Tetingkap graf eksperimen.	A.12
7.26	Tetingkap <i>Glass transition</i> .	A.13
7.27	Tetingkap graf eksperimen.	A.13
7.28	Tetingkap memilih butang A.	A.14
7.29	Tetingkap mengubah nilai suhu.	A.14
7.30	Tetingkap graf yang disediakan.	A.15
7.31	Tetingkap <i>Microsoft Word</i> .	A.15
7.32	Tetingkap <i>Paint</i> .	A.16
7.33	Tetingkap <i>Paint</i> .	A.17
7.34	Tetingkap graf yang sudah dipastekan.	A.17